

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

DIPLOMSKI RAD

**ISPITIVANJE UTJECAJA HIBRIDNE PREVLAKE NA MEHANIČKA
SVOJSTVA GRAĐEVINSKOG TEKSTILA**

Ines Filipović

Zagreb, rujan 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila**

DIPLOMSKI RAD

**ISPITIVANJE UTJECAJA HIBRIDNE PREVLAKE NA MEHANIČKA
SVOJSTVA GRAĐEVINSKOG TEKSTILA**

Mentor: Doc. dr. sc. Maja Somogyi Škoc

Ines Filipović, 9771

Zagreb, rujan 2017.

Posebno se zahvaljujem doc. dr. sc. Maji Somogyi Škoc na velikoj pomoći i stručnim savjetima prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se roditeljima što su mi pružili podršku tijekom cijelog studija.

Rad diplomandice Ines Filipović sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt STARS.

Mišljenja, nalazi i zaključci ili preporuke navedene u ovom materijalu odnose se na autora i ne odražavaju nužno stajališta Hrvatske zaklade za znanost.

ZAHVALA: Projekt STARS financira Hrvatska zaklada za znanost (UIP-2014-09-1534)



Diplomski rad je izrađen na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila.

Rad sadrži:

Broj stranica: 38

Broj tablica: 12

Broj slika: 17

Broj formula: 4

Broj literaturnih izvora: 25

Članovi povjerenstva:

1. Doc. dr. sc. Ksenija Doležal,
2. Doc. dr. sc. Maja Somogyi Škoc,
3. Doc. dr. dr. Iva Rezić,
4. Doc. dr. sc. Dragana Kopitar

Rad je pohranjen u knjižnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Prilaz baruna Filipovića 28a.

Sadržaj

I. TEORIJSKI DIO	1
1. Uvod	2
2. Toplinsko-izolacijski materijali u zgradarstvu	3
2.1 Podjela toplinsko-izolacijskih materijala	3
2.2 Primjena staklenih vlakana u zgradarstvu	6
2.3 Proizvodnja mrežica od staklenih vlakana	10
3. Utjecaj energetske politike u zgradarstvu na ispunjavanje Kyoto Protokola	12
4. Organsko – anorganski hibridi	16
4.1 Sol – gel postupak	16
II. EKSPERIMENTALNI DIO	19
5. Zadatak	20
6. Metode ispitivanja	20
6.1 Metode ispitivanja morfoloških karakteristika	20
6.2 Određivanje sirovinskog sastava	21
6.3 Određivanje debljine i plošne mase	22
6.4 Ispitivanje otpornosti na djelovanje vlačne sile	23
6.5 Priprava hibridnih materijala	25
7. Rezultati ispitivanja i rasprava	29
7.1 Rezultati ispitivanja morfoloških karakteristika	29
7.2. Rezultati određivanja sirovinskog sastava	30
7.3. Rezultati određivanja debljine i plošne mase	31
7.4. Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika	32
8. Zaključak	36
9. Literatura	37

Sažetak

Toplinsko-izolacijski materijali promjenom klime i klimatskih uvjeta sve više su izloženi ekstremnim temperaturama kako onim niskim tako i onim visokim, a kako se to odražava na njihova mehanička svojstva sa hibridnom prevlakom proučavano je u ovom radu. Ispitivanja koja su predviđena normom provode se najviše pri 60 °C, a što u ljetnim mjesecima postaje daleko od onih realnih temperatura kojima su toplinsko-izolacijski materijali zaista izloženi. Kako su takvi materijali u uporabi i tijekom zimskih mjeseci kada su prisutne vrlo niske temperature, svakako je važno dobiti saznanje kako se i takve temperature očituju na mehanička svojstva mrežica od staklenih vlakana.

Prema predviđanjima meteorologa temperature će kroz naredna desetljeća sve više rasti ali i padati, a da li takve temperaturne razlike utječu na mehanička svojstva mrežica od staklenih vlakana koje su predobrađene sol-gel postupkom, a koje se koriste kao toplinsko-izolacijski materijali odgovor se dao u ovom diplomskom radom. Na temelju svega provedenog doneseni su relevantni zaključci.

Ključne riječi: sol – gel postupak, tehnički tekstil, građevinski tekstil, GF mreže, ekstremne temperature

I. TEORIJSKI DIO

1. Uvod

Potreba za uštedom energije i toplinske zaštite građevina pridonijela je povećanoj primjeni toplinsko-izolacijskih proizvoda. Zakonom o gradnji, usklađenim s europskim načelima Direktive za građevne proizvode CPD (89/106/EEZ), zahtijeva se da svaka građevina ovisno o svojoj namjeni tijekom svog trajanja, ispunjava šest bitnih zahtjeva, od kojih se jedan odnosi na uštedu energije i toplinsku zaštitu građevina, a drugi na zaštitu nosive konstrukcije od vanjskih vremenskih utjecaja i njihovih posljedica [1].

Radi tehničkog usklađivanja hrvatskog zakonodavstva s europskim zakonodavstvom, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva donijelo je Tehnički propis o uštedi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Propisom se reguliraju tehnička svojstva i drugi zahtjevi za materijale i proizvode koji se ugrađuju u građevinu, u svrhu uštede toplinske energije i toplinske zaštite, zaštite nosive konstrukcije od vanjskih vremenskih utjecaja i njihovih posljedica, te način potvrđivanja sukladnosti tih proizvoda s navedenim zahtjevima.

Pod vrstama proizvoda namijenjenih za ugradnju radi uštede toplinske energije i toplinske zaštite navode se toplinsko-izolacijski građevni proizvodi čija se kvaliteta utvrđuje, dokazuje i specificira na temelju norma koje su prihvaćene kao hrvatske norme, a proizašle su iz europskih norma [1].

2. Toplinsko-izolacijski tekstilni materijali u zgradarstvu

Kod današnjih uobičajenih postupaka gradnje potrebno je zgrade dodatno toplinski izolirati jer osnovni konstrukcijski materijali, koji osiguravaju nosivost i krutost, provode više topline nego što je prihvatljivo prema suvremenim zahtjevima. Pri tome se prvenstveno misli na ovoj zgrade ako se koristimo građevinskim rječnikom. Glavna zadaća toplinske izolacije je smanjivanje toplinskih gubitaka, a posredno i troškova za energiju, ali i zaštita nosive konstrukcije od vanjskih vremenskih utjecaja (npr. kiše, sunčeva zračenja, naglih promjena temperature i dr.) te njihovih posljedica poput vlaženja konstrukcije, smrzavanja ili pregrijavanja u unutrašnjosti nosivih zidova i dr. Poboljšana toplinska izolacija ovoja zgrade neposredno utječe na čovjekov osjećaj u prostoru boravljenja jer su unutarnje površine zidova toplije, što poboljšava toplinski ugođaj u zgradi [2].

Pri izboru primjerenog materijala za toplinsku zaštitu zgrade treba poštovati nekoliko kriterija gdje je glavna karakteristika za odabir materijala toplinska provodljivost. Što je manja toplinska provodljivost, to je bolji toplinsko-izolacijski materijal. Mjerilo za toplinske gubitke kroz element ovoja zgrade je koeficijent prolaska topline koji mora biti što manji za dobro toplinski izoliran ovoj zgrade.

Osim toplinske provodljivosti, važno je poštivati i druge kriterije poput protupožarne otpornosti, difuzijske propusnosti, gustoće materijala, stišljivosti, trajnosti i osjetljivosti na navlaživanje. Svakako se ne smije zaboraviti da je često važan faktor pri odlučivanju i cijena materijala.

Ponuda toplinsko-izolacijskih materijala na tržištu posljednjih godina je vrlo bogata, gdje uz uobičajene i provjerene klasične toplinsko-izolacijske materijale na tržište dolaze i novi, tj. alternativni toplinsko-izolacijski materijali koje proizvođači često predstavljaju kao ekološke materijale.

2.1. Podjela toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali mogu se podijeliti prema kemijskom sastavu i prema strukturi. Obzirom na kemijski sastav razlikujemo anorganske i organske materijale, pri čemu je od anorganskih materijala na prvome mjestu toplinska izolacija od mineralnih vlakana, staklena i kamena vuna), a od organskih materijala najvažniji su pjenasti materijali, npr. ekspandirani i ekstrudirani polistiren te pjenasti poliuretan.

Prema svojim fizikalno-kemijskim karakteristikama toplinsko-izolacijski materijali se mogu podijeliti na vlaknaste i porozne materijale. Među vlaknaste materijale spadaju tvari od mineralnih vlakana, te biljnih i životinjskih vlakana. Poroznim materijalima pripadaju anorganske tvari, prirodne organske i umjetne organske tvari.

Ukoliko se gleda s uporabnog stajališta, tada je važna podjela na tradicionalne i tzv. ekološke ili alternativne toplinsko-izolacijske materijale. Međutim, ta podjela koja je u praksi dosta uobičajena, u znanstvenim krugovima nije još kao takva prihvaćena.

Kao ekološki toplinsko-izolacijski materijal označuje se materijal odnosno proizvod koji se odlikuje time da u cijelom životnom krugu, od proizvodnje preko uporabe do uklanjanja, što manje zagađuje okoliš.

Mineralna vlakna

Izolacija od mineralnih vlakana u koju pripadaju kamena i staklena vuna kemijski je neutralna, ne stari, postojana je pri visokim temperaturama te je kao takva vrlo omiljena od strane građevinara.

Kamena vuna se proizvodi od bazalta i diabaza s dodanim koksom pri temperaturi taljenja oko 1600 °C, a staklena vuna nastaje pretežno iz kvarcnog pijeska s mogućnošću dodavanja recikliranog stakla u elektro-pećima pri temperaturama oko 1350 °C. Raspuhavanjem nastaju staklena vlakna koja se povezuju dodavanjem veziva. U toj fazi mineralna vuna dobiva karakterističnu boju, staklena je vuna žuta, a kamena sivo zelena.

Mineralna se vuna proizvodi u obliku ploča, u rolama, kašira se na različite nositelje (ljepenku, aluminijsku foliju).

Toplinska provodljivost je dobra, u području između 0,03 i 0,045 W/mK, što je uvrštava u najbolje toplinske izolatore. Teškoću predstavlja brzi rast toplinske provodljivosti pri navlaživanju, stoga je potrebno posebnu pozornost posvetiti skladištenju, kvalitetnoj izvedbi. Slabost je to što je potrebno razmjerno mnogo energije u proizvodnji, oko 460 kW na kubični metar, iako iskorištavanje primarne energije često odstupa. Razgradivost materijala je slaba, stoga struka zahtijeva uvođenje postupaka recikliranja. Mineralna vuna, zbog sićušnih vlakana od kojih je sastavljena, može utjecati na zdravlje ljudi. Stoga se pri radu s mineralnom vunom treba pridržavati zaštitnih mjera. Ugrađuje li se na unutarnjoj strani zida, sićušna vlakna mogu

se odstraniti dobrim prozračivanjem prostora. Mineralna je vuna široko rabljen i ekonomičan materijal.

Ekstrudirani polistiren

Materijal, zbog drugačijeg postupka proizvodnje, ima zatvorenu strukturu i praktički ne upija vodu. Stoga je, unatoč većoj cijeni u usporedbi s ekspandiranim polistirenom, gotovo nepogrešiv izbor na mjestima gdje je toplinska izolacija u neposrednom dodiru s vodom (toplinska zaštita podrumskih zidova, obrnuti ravni krov).

Proizvodni postupak je manje prihvatljiv za okoliš nego proizvodnja ekspandiranog polistirena, potrebno je nešto više energije, a u proizvodnji se rabe plinovi štetni za ozonske slojeve. Ekstrudirani je polistiren za razliku od uobičajeno bijeloga ekspandiranoga polistirena obojen u karakterističnu boju pojedinog proizvođača (svijetloplavo, svijetlozeleno, ružičasto).

Alternativni toplinsko-izolacijski materijali

Suvremenim trendovima u graditeljstvu ne želi se samo smanjiti uporaba energije u zgradi te tako postići manje opterećivanje okoliša, već se ujedno želi ugrađivati okolišu ugodne materijale. Tako su na tržištu na raspolaganju različiti toplinsko-izolacijski materijali od više ili manje prirodnih sirovina i recikliranih proizvoda. Kod tih je proizvoda, uz prednosti vezanih uz okoliš, u obzir potrebno uzeti i određene slabosti u usporedbi s klasično korištenim materijalima.

Toplinska izolacija od celuloze, starog papira, drvnih otpadaka, ekspandirane gline, perlita, trstike, lana, slame, kokosa, pluta, pamuka ili ovčje vune većinom ima nešto slabiju toplinsku provodljivost od klasičnih materijala. Isto tako još nema pouzdanih podataka o trajnosti tih materijala. Kod nekih su, posebno organskih materijala, potrebni dodaci za poboljšavanje protupožarne otpornosti iako, unatoč tome, ti materijali ne postižu protupožarne otpornosti klasičnih izolacijskih materijala. Unatoč tome, cijena alternativnih materijala obično je viša od uobičajenih proizvoda.

Ovčja vuna

Ovčja se vuna može rabiti u starijim konstrukcijama, podovima i kao izolacija cijevi. Njezina je slabost pomanjkanje osnovne sirovine za širu uporabu. Velik se dio vune uvozi s Novog Zelanda, a to znači dugotrajan transport. Po izolacijskim karakteristikama ovčja se vuna može uspoređivati s tradicionalnim materijalima. Potrebni su dodaci za smanjenje gorivosti, tj.

posebna obrada vlakana za postizanje samo gasivosti. Nije preporučljivo izabrati ovčju vunu koja se obrađuje s borovom soli.

Pamuk

Pamuk je kao toplinsko-izolacijski materijal na tržištu prisutan tek nekoliko godina. Dobar je toplinski izolator i cjenovno prihvatljiv. Za poboljšanje protupožarne otpornosti dodaju mu se borove soli. Tradiciju uporabe ima u Pakistanu i Egiptu, jer je tamo kao materijal jeftin i dostupan.

Trstika

Trstika je u prošlosti služila kao toplinsko-izolacijski materijal, a danas se od nje oblikuju izolacijske ploče. Ona se najčešće rabi za obnovu zgrada graditeljske baštine. Na sličan se način upotrebljava i slama, lan te izolacija od kokosovih vlakana. Izolacija od kokosovih vlakana po toplinskim karakteristikama pripada boljim materijalima, ne gnjili te obrađena s dodacima pripada „normalno“ zapaljivim materijalima.

Drvena vlakna

Od drvenih vlakana s dodatkom mineralnih veziva oblikuju se izolacijske ploče. Unatoč nešto slabijoj toplinskoj provodljivosti, ti proizvodi imaju veliku čvrstoću, ne gore, lako se omotavaju i stoga imaju široko područje primjene. Preradom drvenih otpadaka i dodavanjem ljepila izrađuju se drvene vlaknatice, tvrde ili meke ploče koje se često upotrebljavaju u kombinaciji s nasutim izolacijskim materijalima.

2.2. Primjena staklenih vlakana u zgradarstvu

Staklena vlakna imaju važnu ulogu među vlaknima zbog svoje visoke izdržljivosti, nisu štetna za zdravlje, lako se vežu na matrice kompozita. Owens Illinois 1937. g. su u sudjelovanju s Carning Glass, tržištu ponudili prva staklena vlakna za tehničke namjene. Godišnja uporaba staklenih vlakana u svijetu za tekstilne namjene 1995. g. bila je oko 2,3 milijuna tona, a 2000. g. oko 2,9 milijuna tona. Za uporabu tehničkih vlakana u tekstilne namjene promjer vlakana mora biti manji od 13 μm . Takva vlakna najčešće upotrebljavamo u obliku filamenata.

Oko 90% svih staklenih vlakana koji se obično upotrebljavaju za ojačanje, je izrađena iz stakla tipa E. U posljednje vrijeme se češće upotrebljavaju nova staklena vlakna, tj. vlakna tipa AR, i to za ojačavanje anorganskih materijala na osnovi cementa, za poboljšanje izdržljivosti protiv

napetosti u materijalu i protiv udaraca. Ta vlakna su otporna na lužine i sadrže značajan udio cirkonijevog oksida, koji na površini vlakna tvori zaštitni sloj. U građevinskoj industriji kao ojačanja staklenim vlaknima koriste se kao pregrade, zračni odvodni kanali, okviri prozora, kuhinjska i kupaonska oprema, izolacija i dr. Najpoznatija trgovačka imena staklenih vlakana su Fiberglas, Araton, Beta i S-Glas, Vetrotex i Iceberg [3].

Staklena vlakna je skupni naziv za vlakna promjera manjeg od 40 μm , dobivena postupcima ispredanja iz taline različitih vrsta stakla određene fizikalno-kemijske građe i svojstava. Međunarodna kratica prema BISFA-i je GF. Tehnologija proizvodnje staklenih vlakana uključuje najmanje dvije faze: pripravu stakla odgovarajućeg kemijskog sastava i ispredanje vlakana iz taline stakla.

Temeljne sirovine za proizvodnju stakla su fino mljeveni kvarcni pijesak (SiO_2), vapnenac pretežito građen od kalcijevog karbonata (CaCO_3) i kolemantit odnosno kaolin. Uz ove sirovine dodaju se i strogo dozirane količine određenih oksida, ovisno o vrsti stakla koje se želi proizvesti.

Postupci ispredanja filamentnih i vlasastih vlakana u načelu se ne razlikuju puno i svode se na izvlačenje niti iz rastaljenog stakla. Talina stakla temperature 1250 do 1350 $^{\circ}\text{C}$ dovodi se u mlaznicu oblika kadice, izrađenu od legure platine i iridija. Kroz otvore promjera 1 do 2 mm, na dnu kade-mlaznice, slobodno istječe talina i oblikuju se niti koje se izvlače velikom brzinom i hlade zrakom.

O brzini izvlačenja niti ovisi finoća vlakana te pri proizvodnji vlakana promjera $>14 \mu\text{m}$ ona iznosi 1200 do 1500 m/min, a pri proizvodnji finijih niti brzine su još veće.

U proizvodnji filamentnih vlakana skrutnjavanje niti izaziva se kontaktnim hlađenjem te prskanjem niti vodom, nakon čega se gotovo vlakno namata na namotak. Kod proizvodnje vlasastih vlakana staklene niti se u pravilu hlade zrakom koji ih istovremeno izvlači do potrebne finoće, a nakon djelomičnog skrutnjavanja „režu“ se strujom komprimiranog zraka i centrifugalno odvođe u obliku koprene.

Od uporabnih svojstava valja istaknuti općenito veliku čvrstoću uz relativno malu gustoću, veliku termičku otpornost i negorivost, dobre izolacijske karakteristike, otpornost na mikroorganizme, dobru kemijsku otpornost na ulja, masti i organska otapala te na kiseline i

lužine u pH-području od 3 do 9. Od nedostataka treba spomenuti osjetljivost nekih tipova staklenih vlakana na jake lužine, koroziju površine, krtoost te relativno tešku preradivost.

Staklena vlakna dobivena iz raznih vrsta stakla svrstavaju se u 4 skupine: tekstilna vlakna, mikrovlakna, izolacijska i šuplja vlakna.

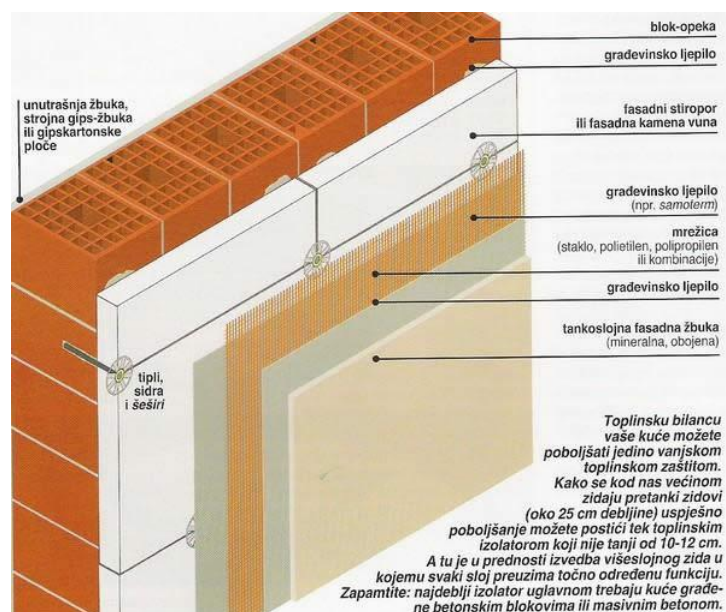
Izolacijska staklena vlakna uglavnom se proizvode kao vlasasta vlakna i prerađuju u netkane tekstilije za toplinsku i elektroizolaciju, pri čemu stupanj središtenosti, tj. uzdužne ili poprečne usmjerenosti vlakana u netkanoj tekstiliji može biti veći (vrpce, koprene, pustovi) ili manji (staklena vuna i vata), a zahtjev na jednolikost promjera po duljini vlakna nije toliko izrazit kao kod vlakana za ostale namjene.

Za staklena vlakna najznačajnija je tehnička primjena, pri čemu se koriste filamentna i vlasasta vlakna.

Filamentna vlakna prerađena u raznovrsne uporabne oblike (roving, tkanine, pleteni elementi, vrpce, cjevasti proizvodi i dr.) većinom se primjenjuju za ojačavanje materijala za raznovrsne tehničke namjene.

Vlasasta staklena vlakna se pretežno prerađuju u pređe, tkanine, pletiva, razne netkane tekstilije, vrpce, filtre, membrane i dr., uglavnom se primjenjuju u raznim industrijama i građevinarstvu. Za građevinarstvo su najznačajnija izolacijska svojstva (toplinska i zvučna izolacija-podloge za bitumen, krovne i podne izolacije, armiranje betona). I druga područja netekstilne primjene su brojna (obloge spremnika za tekućine, punila, filtrirajući materijali, ojačavanje kompozita i dr.) [4].

Staklena vlakna u zgradarstvu koriste se za proizvodnju mrežica koje se koriste za izradu demit fasada (slika 1). Demit fasada danas je nezaobilazna budući da omogućuje uštedu do 60% u troškovima grijanja i smanjuje troškove gradnje zbog tanjih zidova i manjih grijaćih tijela. Izvedba fasade je brza i osigurava ugodne uvjete boravka u prostoru: ljeti hladno, zimi toplo; uz dulji vijek trajanja i ekonomičnije održavanje.



Slika 1 Demit ili stiropor fasada [5]

Kod kvalitetno izvedenih demit fasada ne postoji mogućnost gljivica i truljenja u stambenom ili poslovnom prostoru. Vremenski faktori na demit fasade od stiropora ili fasade od kamene vune nemaju utjecaj. Njihova trajnost je tridesetak godina. Završni dekorativni slojevi su više vodoodbojni od nekadašnjih materijala koji su se koristili za izradu fasada.

Lijepljenje stiropora preporučljivo je izvršiti originalnim ljepilom za stiropor, a tiplanjem cijele fasade na odgovarajućim mjestima povećava se stabilnost. Nakon toga fasader će rabicirati fasade nakon prvog gletanja te obaviti završno fino gletanje čemu je prethodila postava kutnih vodilica s mrežicom. Na kraju se radi grundiranje fasade i završni sloj.

Jedna od čestih pogrešaka nekvalificiranih majstora je krivo nanošenje ljepila na stiropor ploče.

Ljepilo je potrebno nanijeti na ploče po rubovima kako bi se nakon lijepljenja postigao efekt izolirane komore zraka. Ukoliko se propusti postići efekt komore, dolazi do čitavog niza problema sa kondenzacijom i vrlo oslabljenom izolacijom što znatno skraćuje vijek trajanja fasade.

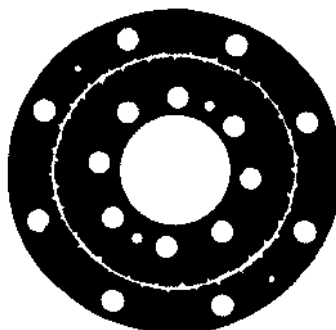
2.3. Proizvodnja mrežica od staklenih vlakana

Mrežice od staklenih vlakana proizvode se vrlo slično mrežama tipa Netlon tvrtke Analit. Mreže tipa Netlon proizvode se od različitih polimernih materijala kao što su polietilen, polivinilklorid, polipropileni i ekspanzirani polistiren, a za koje se primjenjuje posebni tehnološki, postupak istiskivanja kroz mlaznicu, tj. postupak ekstruzije.

Tehnologija proizvodnje vrlo je prilagodljiva, tako da se na istom postrojenju mogu lako proizvesti mreže raznih veličina i oblika, otvora, raznih debljina filamenata i raznih dimenzija. Osim u graditeljstvu, mreže se primjenjuju i u mnogim drugim granama industrije i sl.

Mreže Netlon obično su plošnog oblika, ali mogu biti i cjevaste. Boja mreže može biti različita, što se postiže pigmentom koji se dodaje osnovnom materijalu.

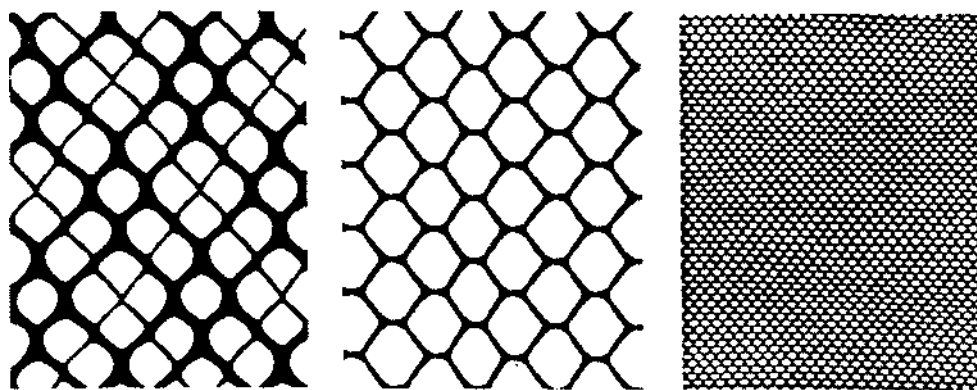
Postupak ekstruzije mreža Netlon provodi se pomoću dvije mlaznice koje se okreću u suprotnom smjeru (slika 2). Niti se dobivaju dijeljenjem toka od među sekcije do među sekcije. Među sekcija nastaje kada se pri okretanju matrica urezi na unutrašnjoj i vanjskoj matrici poklope i tada se istiskuje nit. Kada, se urezi pomaknu iz među sekcije, istiskuju se dvije niti. Ako se jedna matrica zaustavi, a druga nastavi okretanjem, dobiva se mreža, a ako se matrice okreću u suprotnim smjerovima, dobiva se mreža prikazana na slici [6].



Slika 2 Rotirajuće mlaznice za proizvodnju mreža Netlon [6]

Na slici 3 prikazani su razni oblici mreža Netlon. Ako se želi imati mrežu koja je stabilna u dva, smjera, onda, je u tu svrhu pogodan kvadratičan oblik mreže (okaca). Takva se mreža dobiva okretanjem samo jedne matrice, što uzrokuje da se mreža okreće oko valjka.

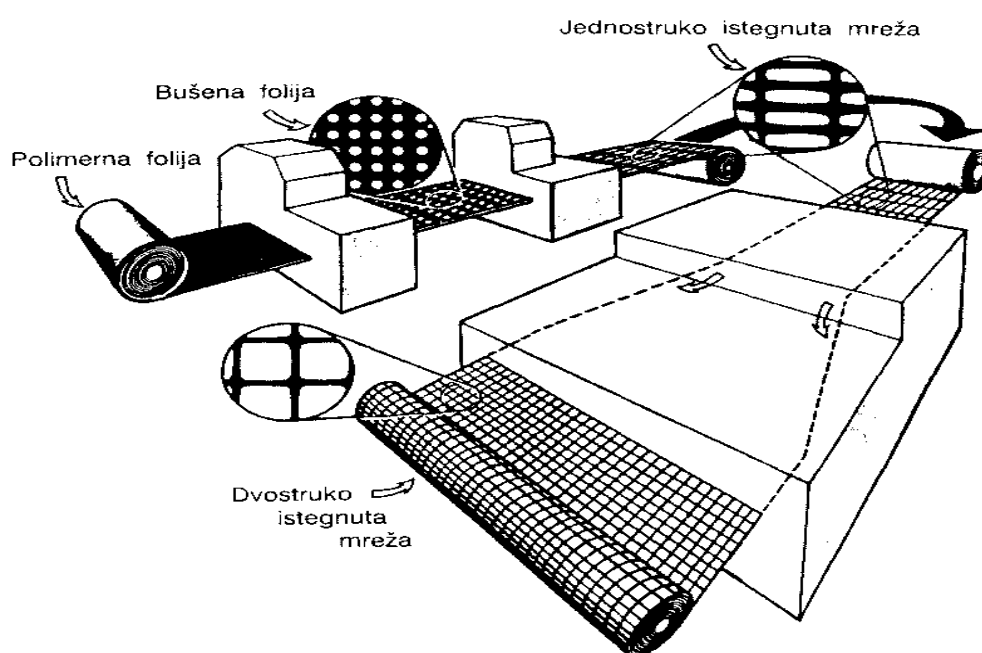
Okretni nož rasijeća mrežu, a valjci za, izvlačenje izvlače je pod kutom od 45°. Tako nastaje plošni oblik mreže s istegnutim nitima u dva smjera [6].



Slika 3 Oblici mreža proizvedenih sustavom Netlon [6]

Dvosmjerno istezanje se izvodi dva puta; prvi puta neposredno po napuštanju ekstruzijske linije mreža se isteže pomoću valjaka koji se okreću različitim brzinama u zagrijanoj vodenoj kupki, a zatim propuštanjem kroz stroj s valjcima, pomoću kojeg se istežu poprečne niti mreže. Pri tom istezanju dolazi do molekulskog usmjerenja materijala koje mu povećava mehanička svojstva.

Još bolja svojstva mreže postižu se sustavom Tensar, čiji je temelj istezanje bušenih folija. Sustav je shematski prikazan na slici 4.

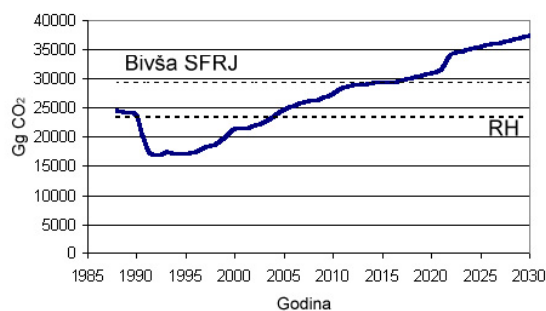


Slika 4 Shematski prikaz postupka proizvodnje mreža sustava Tensar [6]

3. Utjecaj energetske politike u zgradarstvu na ispunjavanje Kyoto Protokola

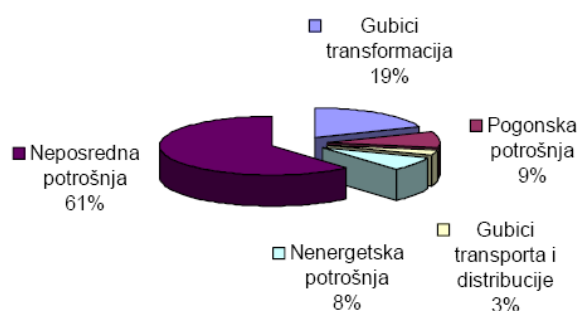
U zadnje vrijeme je postalo jasno da se koncentracija ugljičnog dioksida udvostručila u odnosu na početak devetnaestog stoljeća kao rezultat ljudskih aktivnosti. Kao posljedica toga i pokazatelja da bi koncentracija CO₂ mogla, zbog efekta staklenika, značajno utjecati na globalno zatopljenje Ujedinjeni Narodi su počeli proces ublažavanja čovjekovog utjecaja na promjenu klime. Proces je započeo potpisivanjem UNFCC (UN Framework Convention on Climate Change) konvencije 1992. Kao rezultat tih nastojanja i UNFCC konvencije donesen je i Kyoto protokol [7]. Konvencija je ratificirana od strane 186 zemalja [8], dok je Kyoto protokol potpisalo 84 zemlje, a 74 ga je ratificiralo [9].

Republika Hrvatska je konvenciju potpisala 1992., a ratificirala ju je 1996. [8]. Kao zemlja Aneksa I RH je potpisala Kyoto protokol 1999. [9] i obavezala se da će smanjiti emisije stakleničkih plinova za 5% u odnosu na 1990. U slučaju ne provođenja mjera za redukciju emisija stakleničkih plinova RH će prijeći granicu postavljenu Kyoto protokolom 2003. godine [10]. Za takav slučaj kretanje emisija CO₂ prikazuje slika 5. Granica emisija označena gornjom crtom odnosi se na kvotu emisija prema srednjim emisijama u SFRJ, dok se donja odnosi samo na RH.



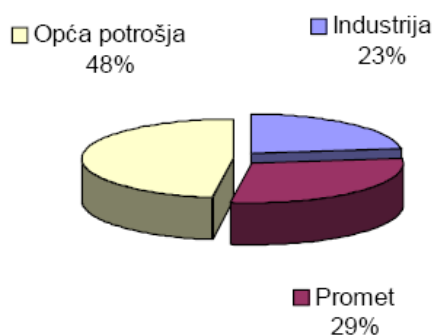
Slika 5 Kretanje emisija CO₂ u RH [10]

Radi boljeg razumijevanja značaja toplinske izolacije kućanstava i općenito energetske efikasnosti u kućanstvima potrebno je prikazati koliki je udio kućanstava u ukupnoj potrošnji energije u RH, te koliki dio te potrošnje otpada na grijanje. Strukturu ukupno utrošene energije u RH za 2000. godinu prema [11] prikazuje slika 6.



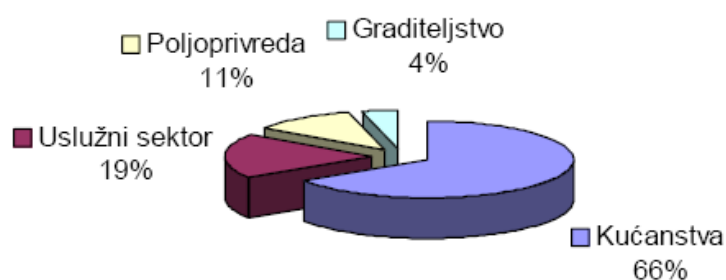
Slika 6 Struktura ukupne potrošnje energije u RH

Strukturu neposredne potrošnje energije u RH za 2000. godinu prema [11] prikazuje slika 7.



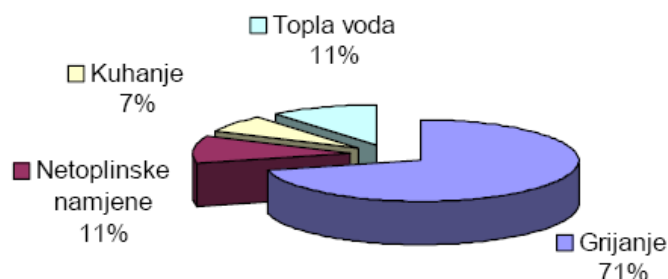
Slika 7 Struktura neposredne potrošnje energije u RH

Strukturu potrošnje u pod sektorima opće potrošnje prikazuje slika 8.



Slika 8 Potrošnja energije u pod sektorima opće potrošnje u RH

Strukturu potrošnje energije u kućanstvima grada Zagreba prema [12] prikazuje slika 9.

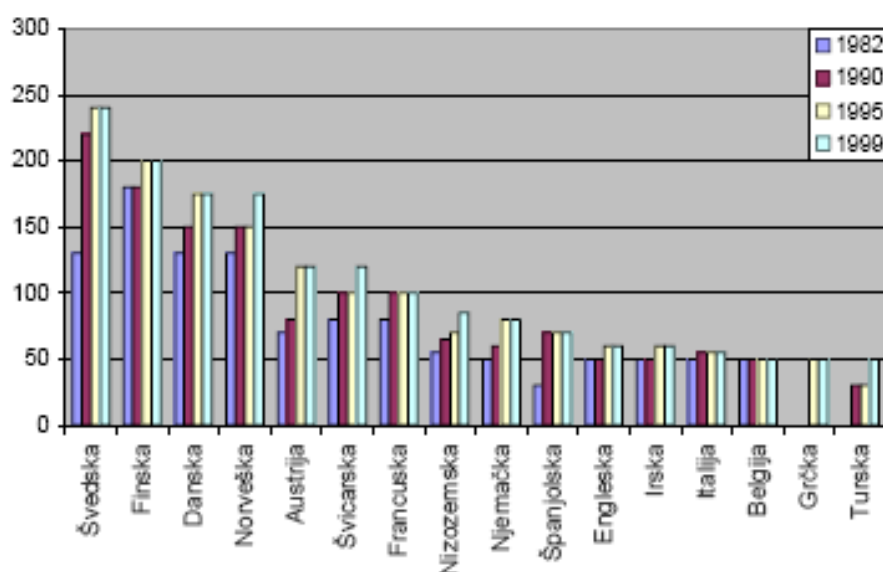


Slika 9 Struktura potrošnje energije u kućanstvima grada Zagreba

Ukoliko pretpostavimo da je struktura potrošnje energije u kućanstvima RH jednaka onoj u gradu Zagrebu vidimo da energija za grijanje kućanstava iznosi 22,5% neposredne potrošnje energije u RH, odnosno 14% ukupne potrošnje energije. Ukoliko to usporedimo s ostalim pod sektorima opće potrošnje vidimo da je potrošnja energije za grijanje u kućanstvima RH gotovo jednaka potrošnji u industriji i za nekoliko postotaka manja od potrošnje u prometu. Kako je tu uzet podatak za Zagreb (slika 9) postoci se za cijelu RH vjerojatno malo razlikuju, no bez obzira na to radi se o značajnom postotku energije u ukupnoj potrošnji RH i o dijelu potrošnje o čijem se racionaliziranju svakako treba voditi računa u cilju smanjenja potrošnje energije, emisije stakleničkih plinova, utjecaja na okoliš i ispunjavanja obaveza preuzetih Kyoto protokolom.

Prema [13] potrošnja energije u novim zgradama u EU iznosi 60% potrošnje u starim zgradama. Kućanstva su u EU izvor četvrtine emisija CO₂, a grijanje tim emisijama doprinosi sa 60-80% [14]. Prema [15], realno bi bilo očekivati 20-25% uštede energije u postojećim zgradama, što bi dovelo do smanjenja emisija EU od 12,5%. Prema [16] poboljšanje toplinske izolacije stambenih objekata moglo bi smanjiti ukupne emisije u SAD za 30%.

Kao posljedica svega navedenog, u svijetu se počela pridavati veća pažnja toplinskoj izolaciji zgrada, te uštedama energije i smanjenju emisija CO₂. Tu činjenicu dobro ilustrira kretanje debljina izolacija u nekim zemljama koje je prikazuje slika 10.



Slika 10 Kretanje debljina izolacija u europskim zemljama [17]

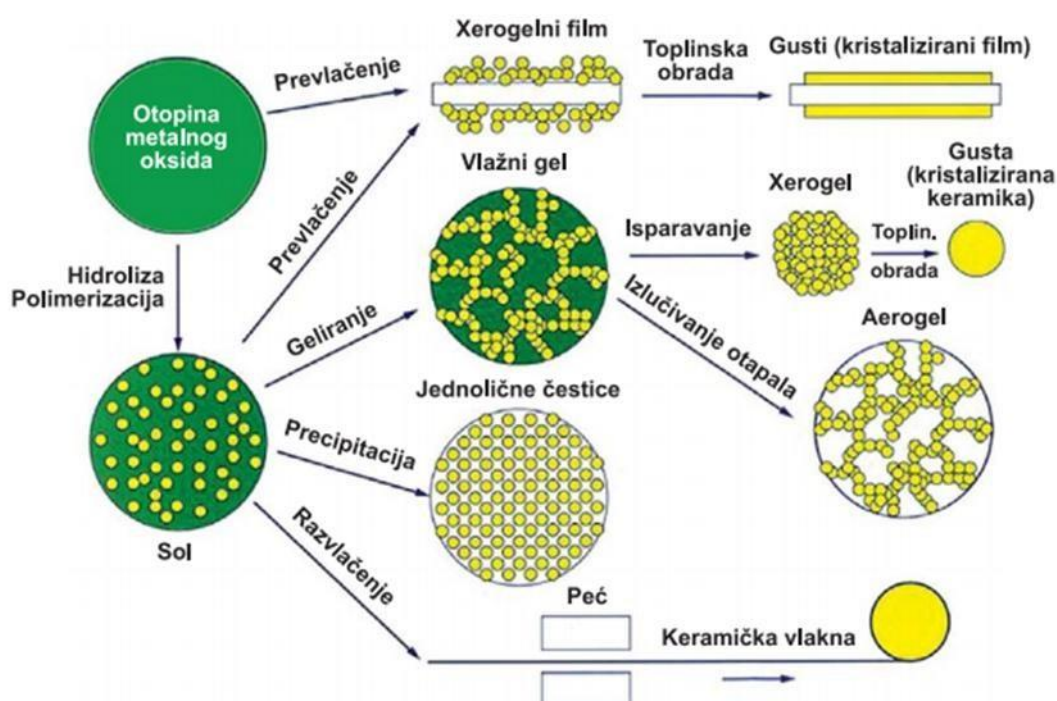
Osim navedenih potencijalnih smanjenja emisija poboljšanje toplinske izolacije ima još nekih prednosti. Mada se za proizvodnju izolacijskih materijala troši velika količina energije prema [18] omjer energije utrošene na proizvodnju i ostvarenih ušteda energije ugradnjom izolacijskih materijala iznosi 12:1. Tehnologija je poznata i može se početi odmah primjenjivati. Mjere za poboljšanje energetske efikasnosti zgrada, među koje spada i poboljšanje toplinske izolacije zgrada, su među najisplativijim od svih raspoloživih mjera za smanjenje emisija CO₂ [19]. Pored toga treba obratiti pažnju i na potencijalna radna mjesta. Direktna posljedica povećanja toplinske izolacije zgrada bila bi otvaranja značajnog broja radnih mjesta na dulje vrijeme [20]. Iz svega navedenog može se zaključiti da bi poboljšanje toplinske izolacije postojećih stambenih objekata i u RH moglo rezultirati značajnim smanjenjem emisija stakleničkih plinova, a samim time i puno lakšim ispunjavanjem obaveza preuzetih Kyoto protokolom [21].

4. Organsko – anorganski hibridi

Uporabna svojstva polimera već se desetljećima poboljšavaju ili mijenjaju priređivanjem kompozita koji u sebi ujedanjuju najbolja svojstva svojih komponenti. Pri tome, svojstva kompozita ne ovise samo o svojstvima polimerne matrice i većinom anorganskog punila, već i o udjelu i jednakosti raspodjele punila već i o udjelu i jednolikosti raspodjele punila, adheziji između punila i matrice, veličini čestica punila i dr. Kod tradicionalnih postupaka pripreme kompozitne smjese miješanjem postiže se homogenost smjese. Kompoziti pripremljeni sol – gel postupkom odlikuju se nanometarskom molekulnom razinom homogenosti, što zbog velike relativne površine i pojačane adhezije između punila i matrice omogućuje postizanje boljih uporabnih svojstava kompozitnih tvorevina uz manji udio punila. Proučavanje djelovanja anorganskih punila nastalih sol – gel postupkom provedeno je na svim vrstama polimernih matrica. Takvi kompoziti često se nazivaju organsko – anorganski hibridi. Radi poboljšanja adhezije poželjne su jake kovalentne veze između organske i anorganske komponente. To se postiže uporabom organskih modificiranih silicijevih alkoksida, koji već sadrže kovalentnu Si – C vezu, kao anorganskih polaznih tvari (prekursora) [22].

4.1. Sol – gel postupak

Reakcije hidrolize metalnih alkoksida i njihove kondenzacije u neprekinutu metaloksidnu mrežu nazivaju se sol – gel proces. Najčešće se rabi tetraetoksisilan (TEOS), $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, čijom hidrolizom i kondenzacijom nastaje SiO_2 mreža. Reakcije hidrolize mogu biti katalizirane kiselinom ili bazom. Sintaza organsko – anorganskih hibrida može biti jednostupanjska ili višestupanjska. Kod jednostupanjske sinteze istovremeno s reakcijama hidrolize i kondenzacije TEOS – a provodi se polimerizacija organskih monomera. Tako nastaju tzv. simultane interpretirane organsko – anorganske mreže, bez kovalentnih veza između organske i anorganske komponente. Kod višestupanjskih sinteza postoji više mogućnosti. Prvo može nastati polimer koji nakon toga bubri u otopini TEOS – a, koji zatim sol – gel postupkom stvara silikatnu fazu unutar polimerne matrice. Pri uporabi organsko modificiranog silicijevog alkoksida prvo nastaje silikatna mreža polikondenzacijom silicijevog alkoksida, a u drugom stupnju dolazi do reakcije aktivnih organskih skupina.



Slika 11 Shema sol – gel postupak

Polazni materijal za sintezu koloida (sola) je prekursor. On se sastoji od centralnog atoma metala koji je okružen različitim reaktivnim ligandima, odnosno atomi vezani na centralni atom. Najpogodniji prekursori su metalni alkoksidi zbog brze reakcije s vodom. Koriste se najčešće komercijalno dostupniji alkoksidi silicija, aluminijski, cirkonijski i titanski. Zbog svoje stabilnosti, veće dostupnosti i jednostavnosti rukovanja silicijski alkoksidi najčešće su upotrebljavane polazne tvari za sol-gel postupak.

Za opisivanje sol-gel postupka na funkcionalnoj razini koriste se tri reakcije:

- hidroliza,
- kondenzacija alkohola i
- kondenzacija vode.

Sol-gel postupak u užem smislu obuhvaća reakcije hidrolize i kondenzacije metalnih alkoksida, pri čemu nastaje neprekinuta trodimenzijska metaloksidna mreža.

Prvi korak sol-gel sinteze je hidroliza SiO-R veze (1), gdje je R najčešće alifatski lanac, a ovisno o količini vode i katalizatora, hidroliza može biti potpuna (2), praćena kondenzacijom uz izdvajanje vode (3) ili alkohola (4):



Hidrolizom prekursora nastaje otopina. Dodatkom vode dolazi do zamjene alkoksidne skupine sa hidroksilnom skupinom. Sama kondenzacija odvija se preko Si-OH skupine gdje nastaje Si-O-Si veza te kao nusprodukt voda. Broj veza Si-O-Si se povećava, pojedinačne molekule se grupiraju i jednolično raspoređuju stvarajući sol. Kada nastane gelna faza materijal postaje krut, te se više ne može oblikovati ulijevanjem u kalup ili nanošenjem na podlogu kao prevlake. Zbog toga je jako bitno praćenje stupnja koncentracije alkoksida i poznavanje točke geliranja. Time se ne zaustavlja sol-gel proces, budući da gel stari odnosno grana se daljnjim stvaranjem Si-O-Si veza.

Prilikom prevlačenja sol-gel postupkom bitno je odabrati odgovarajući postupak nanošenja prevlake, ali najbitnije je dobro poznavanje prevlake i podloge kako bi ona bila stabilna. Postoji nekoliko tehnika prevlačenja sol-gel postupkom:

- uranjanje (engl. dip coating),
- naštrcavanje (engl. spray coating),
- vrtnja (engl. spin coating),
- kapilarno prevlačenje (engl. capillary coating),
- valjanje (engl. roll coating),
- tiskanje (engl. printing coating),
- kemijsko prevlačenje (engl. chemical coating).

U ovom radu korišten je postupak vertikalnog uranjanja, gdje se podloga s uzorkom uranja u tekućinu i nakon toga izvlači definiranom brzinom pri kontroliranoj temperaturi i atmosferskim uvjetima.

II. Eksperimentalni dio

Glavni znanstveni interes diplomskog rada bio je usmjeren istraživanju utjecaja sol-gel prevlake na staklenim mrežica i njenu otpornost na ekstremne temperature.

5. Zadatak

Primjenom fizikalno – mehaničkih i kemijskih metoda provesti karakterizaciju i ispitivanje utjecaja hibridne prevlake na mehanička svojstva građevinskog tekstila:

- provesti karakterizaciju osnovnih svojstava mrežice od staklenih vlakana:
 - ispitati morfologiju i površinske karakteristike primjenom Dino – lite sustava za mikroskopiranje,
 - utvrditi temeljne dimenzijske karakteristike (debljina, plošna masa, veličina otvora),
- uzorke obraditi sol-gel postupkom,
- pripremiti otopine različitih koncentracija (I otopina, II otopina, III otopina),
- obraditi uzorke pri različitim uvjetima ispitivanja (dvije obrade u sušioniku – temperatura 60°C i 80°C, a jedna u dubokom zamrzivaču na temperaturi -18°C),
- ispitati otpornost na djelovanje vlačne sile neobrađenih i obrađenih uzoraka,
- na temelju svega provedenog donijeti relevantne zaključke o utjecaju različitih koncentracija i temperatura na mehaničke karakteristike.

6. Metode ispitivanja

6.1. Metode ispitivanja morfoloških karakteristika

Karakteristike površine ispitivanih uzoraka određene su pomoću sustava Dino – lite za mikroskopiranje. Korišten je Dino – lite Pro AM413T digitalni mikroskop rezolucije

1,3 mpiksela s mogućnošću povećanja do 200x, a koji je računalno povezan (slika 12). Na taj način pruža mnogo više mogućnosti u odnosu na tradicionalne mikroskope u pogledu realnog prikaza boja, izvrsne kvalitete slika, obrade slika, fotografiranja, video snimanja, a prema potrebi kalibracije i sl.

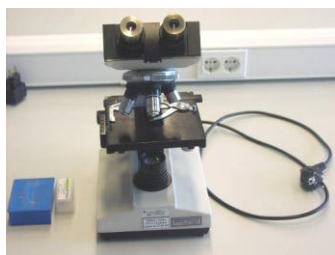


Slika 12 Dino-Lite Pro AM413T [23]

6.2. Određivanje sirovinskog sastava

Provedeno je mikroskopiranje pomoću specifičnih reagenasa na školskom mikroskopu, a potom na mikroskopu za određivanje tališta.

Mikroskopiranje pomoću specifičnih reagensa i otapala provedeno je metodama analize sirovinskog sastava prema dobivenim saznanjima iz *Znanosti o vlaknima I* i u skladu s propisom iz Narodnih novina br. 41/2010 [24].



Slika 13 Školski mikroskop

Dodatno je provedeno određivanje točke taljenja na posebnom mikroskopu za određivanje tališta tvrtke Reichert na kojemu se prate promjene na vlaknima do kojih dolazi utjecajem topline. Promjene na vlaknima registriraju se kao početak savijanja vlakana, gubitka oblika i konačno kao taljenje vlakana, tj. nastajanje polimerne taljevine. Mikroskop je opremljen okularom povećanja 10 x. Grijani stolić omogućuje taljenje u području do 350 °C.



Slika 14 Mikroskop za određivanje tališta Reichert

6.3. Određivanje debljine i plošne mase

Prema HRN EN ISO 5084:2003 određena je **debljina** plošnog proizvoda se definira kao razmak između dvije metalne ravne paralelne ploče razdvojene tkaninom koja se nalazi pod određenim pritiskom. Mjerenje se provodi pomoću debljinomjera koji mora osigurati preciznost rezultata na 0,01 mm.

Debljinomjer se sastoji od podloge na koju se stavlja ispitivani materijal i pritiskivača (kružna ugláčana ploča) kojom se materijal pritišće određenom silom i koji je u vezi sa dijelom za pokazivanje i registriranje rezultata.

Površina pritiskivača i pritisak za vrijeme mjerenja ovise o ispitivanom materijalu i obično se definiraju ugovorom. Ukoliko to nije posebno propisano, navedenim standardom se preporučuje za ispitivanje uobičajenih (relativno glatkih tkanina i pletiva) površina pritiskivača od 10 cm² i pritisak od 50 cN/cm². Potrebno je načiniti 5 mjerenja na različitim dijelovima uzorka, a preciznost očitavanja rezultata mora biti 0,01 mm. U izvještaj ispitivanja daje se srednja vrijednost mjerenja.

U svrhu mjerenja debljine mrežice od staklenih vlakana korišten je debljinomjer s utegom od 500 cN uz promjer pritiskivača 5 cm². Navedeni parametri omogućuju pritisak kod mjerenja od 100 cN/cm².

Radi osiguranja reproducibilnosti mjerenja, uzorak je mjeren na 5 mjesta prema HRN EN ISO 5084:2003.

Plošna masa neobrađenih uzoraka određena je prema HRN EN ISO 2286-2: 2008, tj. Plošne tekstilije naslojene gumom ili plastikom -- Određivanje svojstava namotka -- 2. dio: Metode određivanja ukupne površinske mase, površinske mase nasloja i površinske mase podloge (ISO 2286-2:1998; EN ISO 2286-2:1998 i iskazana u g/m².

6.4. Ispitivanje otpornosti na djelovanje vlačne sile

Određivanje mehaničkih svojstava mrežice od staklenih vlakana za primjenu u zgradarstvu provedeno je u skladu s normom *HRN EN 13946 Toplinsko-izolacijski proizvodi za primjenu u zgradarstvu – Određivanje mehaničkih svojstava mrežice od staklenih vlakana (EN 13496: 2002)*.

Potreban pribor:

- dinamometar ((50 ± 5) mm/min),
- stezaljke (unutarnji dio mora biti obložen s gumom ili sličnim materijalom koji ne dozvoljava izvlačenje uzorka iz stezaljke,
- spremnik (plastičan, stakleni ili od čelika) dimenzija 35 x 20 cm valjkastog ili pravokutnog oblika u koji stane $(2 \pm 0,1)$ l alkalne otopine tako da su uzorci potpuno uronjeni u otopinu,
- destilirana voda,
- Ca(OH)_2 , NaOH, KOH, HCl, indikator papir,
- laboratorijski pribor.

Broj uzoraka:

- osnova: 14 uzoraka (7 obrađenih i 7 neobrađenih),
- potka: 14 uzoraka (7 obrađenih i 7 neobrađenih).

Dimenzije uzoraka:

- ispituje se u smjeru osnove i potke: 300 x 50 mm,
- unutar širine 50 mm mora se nalaziti najmanje 5 niti, a omjer dužine između stezaljki spram širine mora biti 4:1.

Priprema uzoraka:

- uzorci se režu iz tvornički zapakiranog proizvoda,
- uzorci se režu 5 m nakon što se odmotala rola i na udaljenosti od 100 mm od rubova.
- uzorci se režu po niti osnove i potke,
- broj niti osnove i potke mora biti jednak za svih 7 uzoraka,

- uzorci ne smiju biti zgužvani, oštećeni i tijekom ispitivanja treba pažljivo rukovati s njima [24].

Kondicioniranje uzoraka - uvjeti:

temperatura: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$,

relativna vlažnost zraka: $(50 \pm 5) \%$,

vrijeme izlaganja: 24 h

Tijek postupka ispitivanja:

1. izreži uzorke – kondicioniraj ih u navedenim uvjetima
2. pripremi alkalnu otopinu određene koncentracije
3. uzorke stavi u spremnik i prelij ih s određenom količinom alkalne otopine
4. stavi spremnik s uzorcima u sušionik na 24 h pri $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$
5. uzorke pažljivo izvadi iz sušionika
6. pažljivo isperi uzorke pod mlazom tekuće vode iz slavine do pH 9 (ispiranje bez mehaničkog pokretanja) uz uporabu zaštitnih rukavica
7. pripremi 0,5 % HCl
8. operi spremnik
9. stavi uzorke u spremnik i prelij s 0,5 % HCl
10. ostavi 60 min pri sobnoj temperaturi
11. pažljivo isperi uzorke pod mlazom tekuće vode iz slavine do pH 7 (ispiranje bez mehaničkog pokretanja)
12. stavi uzorke u sušionik 24 h pri temperaturi $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$
13. kondicioniraj uzorke pri temperaturi $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ i $(50 \pm 5) \text{ RH}$
14. uključi dinamometar i pokreni software podesi razmak stezaljki na 200 mm
15. ispitaj obrađene i neobrađene uzorke
16. zabilježi prekidnu silu F_F [N] i prekidno produljenje l_F [mm]
17. izračunaj sve pojedinačne vrijednosti čvrstoće β_F [N/mm] [25].

$$\beta_F = \frac{F_F}{\omega}$$

Gdje je:

F_F [N] – sila prekida

ω [mm] – širina ispitivanog uzorka

Kako bi se dobio uvid u ponašanje mrežica od staklenih vlaknaca u uvjetima primjene kada je temperatura znatno viša ili niža od one definirane normom, navedena norma je modificirana na dva načina, tako da su uzorci:

- dodatno obrađeni u alkalnoj otopini istog sastava kao u normi ali pri različitim koncentracijama,
- podvrgnuti ekstremnim temperaturama (-18 °C i 80 °C).

Otopine su pripremljene otapanjem Ca(OH)_2 , NaOH, KOH u destiliranoj vodi (g/l), a korištene količine navedene su u tablici 1. Za 30-35 g staklene mrežice potrebna je 1 l otopine.

Tablica 1 Korištene otopine

Sredstvo	I. otopina	II. otopina (u skladu s normom HRN EN 13946)	III. otopina
Ca(OH)_2	0,25 g/l	0,5 g/l	1 g/
NaOH	0,5 g/l	1g/l	2 g/l
KOH	2 g/l	4g/l	8 g/l







Slika 15 Priprema otopina

Tablica 2 Uvjeti ispitivanja

Oznaka	Uvjeti ispitivanja
N	neobrađeni uzorci
I. obrada (u skladu s normom HRN EN 13946)	60 °C (sušionik) uzorci u I., II. i III. otopini
II. obrada	80 °C (sušionik) uzorci u I., II. i III. otopini
III. obrada	-18 °C (duboko zamrzavanje – ledara) uzorci u I., II. i III. otopini

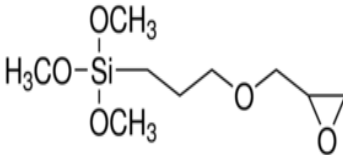
Tablica 3 Prikaz obrade uzoraka u otopini I, II i III nakon sol-gel obrade

	
<p>Uzorci pripremljeni za obradu u sušioniku pri 60 °C, 80 °C</p>	<p>Uzorci u ledari (-18 °C)</p>
	
<p>Ispiranje i neutralizacija uzoraka</p>	<p>Sušenje uzoraka</p>

6.5. Priprava hibridnih materijala


Kako bi se izuzeo utjecaj nečistoće kemikalija na točnost rezultata korištene su kemikalije najvišeg stupnja čistoće „pro chromatographia“ i kemikalije stupnja čistoće „pro analysi“. tj. one koje sadrže tako malo nečistoća da se praktički mogu zanemariti, a koje se onda uzimaju da su 100 %-tne. Za pripravu hibridnih materijala korištene su kemikalije prikazane u tablici 5 i 6.

Tablica 4 Osnovne karakteristike odabranog prekursora

<p>GLYMO (C₉H₂₀O₅Si) modificirani silan, 3-glicidiloksipropiltrimetoksisilan, (GLYMO ili GPTMS ili GOPTS ili GOPS ili GOTMS) 98 % Aldrich, M = 236,34 g/mol; CAS: 2530-83-8</p>	
--	---

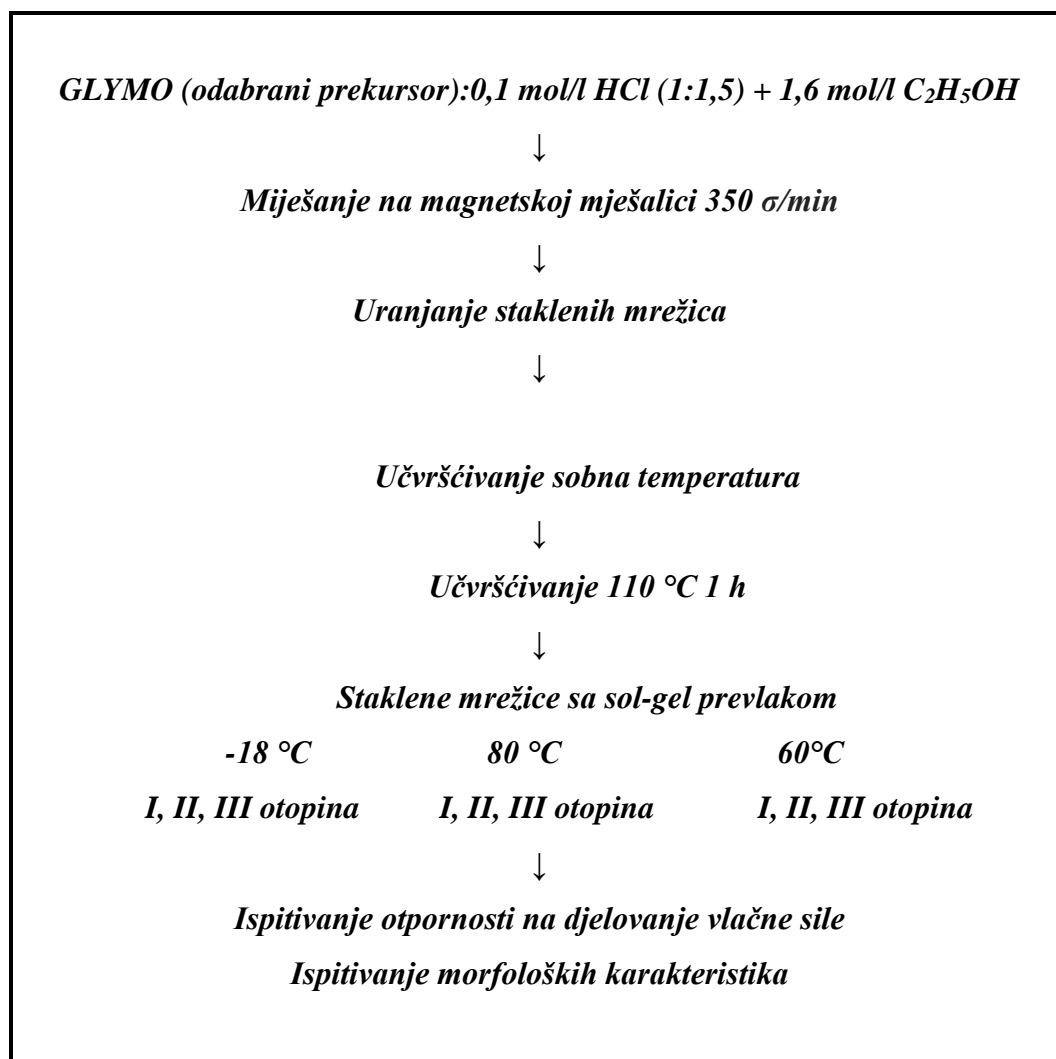
Kao katalizator za hidrolizu GLYMO-a odabrana je klorovodična kiselina budući da se radi o lako hlapljivoj tvari koja se iz matice može ukloniti isparavanjem prije ili tijekom umrežavanja.

Tablica 5 Osnovne karakteristike odabranog katalizatora

<p>HCl p.a., klorovodična kiselina 37% Aldrich, M = 36,46 g/mol CAS: 7647-01-0</p>	<p>C  Nagrizajuće</p>
--	---

Shematski tijek ispitivanja prikazan je u tablici 7.

Tablica 6 Shematski tijek ispitivanja



Za pripravu sol-gel prevlaka korištena je posebna posuda duplog dna za termostatiranje kako bi se osigurali konstantni uvjeti ispitivanja i zadovoljili osnovni uvjeti pripreve.



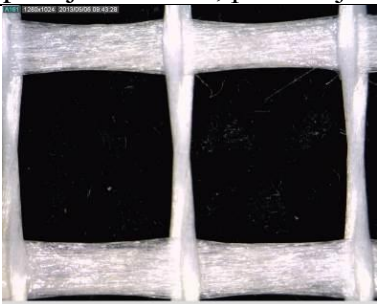


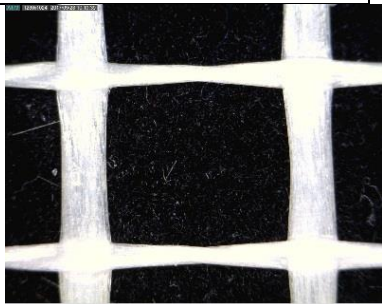
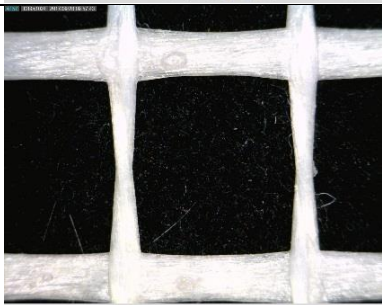

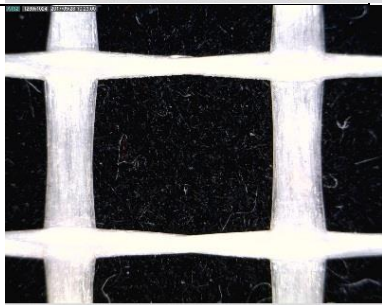

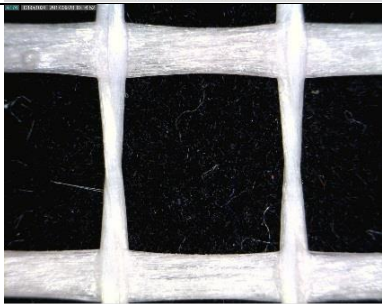
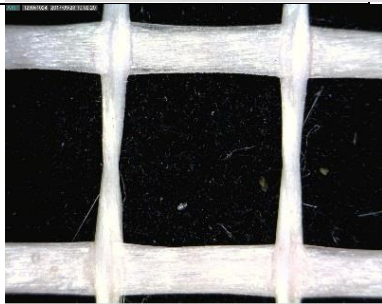
Slika 16 Aparatura za pripravu sol gel-prevlaka (Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila)

7. Rezultati ispitivanja i rasprava

7.1. Rezultati ispitivanja morfoloških karakteristika

Morfološke karakteristike mrežice od staklenih vlakana snimljene su na neobrađenom uzorku i na uzorcima obrađenim u tri otopine različitih koncentracija (tab. 1), pri temperaturama $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, a koje su prije izlaganja ekstremnim temperaturama bile obrađene sol-gel postupkom i prikazane su u tablici 6.

Tablica 7 Morfološke karakteristike mrežice od staklenih vlakana, obrađene pri različitim uvjetima obrade (sustav za mikroskopiranje Dino-lite, povećanje 60x)

Neobrađeni uzorak			
T	$-18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$80\text{ }^{\circ}\text{C}$
I otopina			
II otopina			
III otopina			

Gdje je T oznaka za temperaturu obrade.

Na temelju slika dobivenih pomoću Dino lite sustava za mikroskopiranje pri povećanju od 60x doneseni su slijedeći zaključci:

- usporedbom dobivenih slika obrađenih uzoraka s neobrađenim uzorkom ne uočavaju se značajne razlike između djelovanja I., II. i III. otopine pri obradi na 60 °C i 80 °C;
- kod obrade koja se provodila u ledari pri temperaturi -18 °C uočava se da nema značajne razlike za I. i II. otopinu u usporedbi s neobrađenim uzorkom;
- kod obrade koja se provodila pri -18 °C u III. otopini ne uočava se značajnija promjena u izgledu površine koja bi doprinijela narušavanju izgleda, u vidu izvlačenja staklenih vlakana iz mrežice.

Kod otopine III. očekivano je bilo, a i u prethodnom radu se pokazalo da kako ta otopina ima najveću koncentraciju Ca(OH)_2 , NaOH, KOH je logično očekivati da će ta otopina najviše narušiti estetski izgled mrežice, tj. izazvati najviše izvučenih staklenih vlakana. U ovom radu to se nije desilo budući da staklena mrežica ima sol-gel prevlaku.

Kako je sastav II. otopine definiran normom i kao takav najpribližniji sastavu koji se primjenjuje u građevinarstvu može se zaključiti da mrežica može izdržati visoke temperature (60 °C i 80 °C), ali i nisku temperaturu od -18 °C, a gdje sol-gel prevlaka doprinosi zaglađivanju stršećih vlakana.

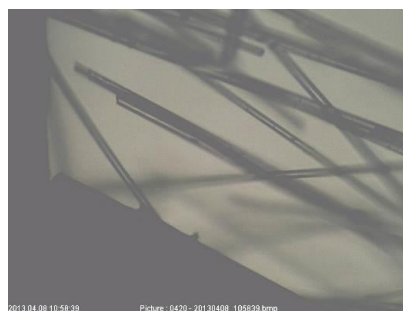
7.2. Rezultati određivanja sirovinskog sastava

Ispitivani uzorak mrežice od staklenih vlakana bio je deklariran od strane proizvođača kao stakleno vlakno. Bez obzira na to prije samog početka ispitivanja bilo je potrebno provjeriti radi li se zaista o staklenim vlaknima ili možda o nekom drugom umjetnom vlaknu.

Za tu namjenu kao što je spomenuto kod prikaza metoda ispitivanja korišteni su školski mikroskop i mikroskop za određivanje točke taljenja uz Dino-lite sustav za mikroskopiranje, a dobivene snimke su prikazane na slici 11.



Vlakna zagrijana u ClZnI-reagensu (školski mikroskop, 160x)



Mikroskopsko određivanje točke taljenja (16x)

Slika 17 Određivanje sirovinskog sastava

Kako su staklena vlakna velike termičke otpornosti i negorivosti, kemijske otpornosti na organska otapala te na kiseline i lužine u pH-području od 3 do 9, do dokaza da se radi o staklenim vlaknima pokušalo se doći indirektno. Uobičajenim mikroskopskim metodama identifikacije uz pomoć specifičnih reagensa, pokušalo se eliminirati uobičajena sintetska vlakna sličnog izgleda - polipropilenska, poliesterska, poliamidna vlakna i dr. Ta vlakna nisu se mogla dokazati, a specifičan staklast izgled i ponašanje u dodiru s plamenom, potvrdili su pretpostavku o staklenim vlaknima u skladu s proizvođačkom specifikacijom mrežice.

7.3. Rezultati određivanja debljine i plošne mase

Rezultati određivanja debljine mrežice od staklenih vlakana prikazani su u tablici 8.

Tablica 8 Rezultati određivanja debljine ispitivanog uzorka

n	d [mm]
1	0,32
2	0,33
3	0,34
4	0,34
5	0,34
X	0,334
σ	0,0080
V [%]	2,4

Vrijednosti debljine mrežice od staklenih vlakana kreću se od 0,32 do 0,34 mm uz koeficijent varijacije od 2,4 %, a na osnovi čega možemo zaključiti da je debljina ujednačena.

Plošna masa mrežice od staklenih vlakana određena je u skladu s normom HRN EN ISO 2286-2:2008 i iznosi 88,9 g/m².

7.4. Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika

Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika neobrađenog uzorka i obrađenih uzoraka prikazani su tablicama od 9 do 12.

Tablica 9 Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika neobrađenog uzorka

Smjer izrade / ispitivani parametri		Prekidna sila, F [N]	Prek. ist., ϵ [%]	Čvrstoća, β_F [N/mm]
U smjeru izrade (osnova)	1	1030	3,60	20,6
	2	560	2,10	11,2
	3	1252	4,05	25,04
	4	1290	4,05	25,8
	5	-	-	-
	6	-	-	-
	X	1033	3,4	20,66
	σ	336	0,925	5,812
	V [%]	32,483	26,802	28,13
Suprotno smjeru izrade (potka)	1	1466	4,95	29,32
	2	1643	4,05	32,86
	3	1699	4,64	33,98
	4	1788	4,64	35,76
	5	1525	3,90	30,5
	6	-	-	-
	X	1624,2	4,4	32,5
	σ	130	0,444	2,326
	V [%]	7,997	10,007	7,15

Rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja i čvrstoće (β_F) za neobrađeni uzorak ukazuju da su vrijednosti više u smjeru potke nego u smjeru osnove.

Općenito vrijednosti čvrstoće su veće nego kod tekstilija za tekstilnu primjenu, a što ukazuje da je za staklena vlakna daleko značajnija i prikladnija tehnička primjena. Prekidno istezanje je vrlo malo od 2,10 % do 4,05 % za osnovu i od 3,90 % do 4,95 % za potku, a što je obzirom na strukturu (mrežicu) i namjenu prikladno istezanje za primjenu u građevinarstvu (toplinsko-izolacijski materijali).

Tablica 10 Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika uzoraka obrađenih pri 60 °C

Smjer izrade		U smjeru izrade (osnova)			Suprotno smjeru izrade (potka)		
Ispitivani parametri		F [N]	ε [%]	β_F [N/mm]	F [N]	ε [%]	β_F [N/mm]
I OTOPINA	1	665	2,40	13,3	863	2,25	17,3
	2	735	3,00	14,7	1170	2,70	23,4
	3	872	2,55	17,4	1070	2,85	21,4
	4	551	1,65	11,02	1130	2,85	22,6
	5	826	2,85	16,52	1264	3,00	25,3
	6	637	1,95	12,7	1153	3,15	23,1
	X	714,3	2,4	14,3	1108,3	2,8	22,2
	σ	121	0,520	2,199	12,252	11,066	2,472
	V [%]	16,872	21,651	15,38	12,252	11,066	11,14
II OTOPINA	1	1108	4,64	22,2	1360	3,45	27,2
	2	921	2,85	18,4	1466	3,90	29,3
	3	1141	3,45	22,8	1486	3,90	29,7
	4	1192	3,60	23,8	1337	3,75	26,7
	5	1084	3,30	21,7	1411	3,45	28,2
	6	1395	4,20	27,9	1060	3,15	21,2
	X	1140,2	3,7	22,8	1353,3	3,6	27,05
	σ	155	0,300	2,826	155	0,647	2,822
	V [%]	11,442	8,333	12,39	13,597	17,599	10,44
III OTOPINA	1	-	-	-	1414	3,59	28,3
	2	670	2,25	13,4	1613	3,75	32,3
	3	743	2,84	14,8	1307	3,90	26,1
	4	940	2,55	18,8	1404	3,74	28,1
	5	881	3,00	17,6	1424	3,45	28,5
	6	780	2,70	15,6	1213	3,30	24,3
	X	802,8	2,7	16,04	1395,8	3,6	28
	σ	134	0,222	1,937	0	0	2,453
	V [%]	9,594	6,122	12,07	0	0	8,76

Rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja i čvrstoće za obradu 60 °C ukazuju da su dobivene vrijednosti najviše za uzorke obrađene II. otopinom. Najniže vrijednosti dobivene su nakon obrade s I. otopinom, a potom za III otopinu.

Tablica 11 Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika uzoraka obrađenih pri 80 °C

Smjer izrade		U smjeru izrade (osnova)			Suprotno smjeru izrade (potka)		
Ispitivani parametri		F [N]	ε [%]	β_F [N/mm]	F [N]	ε [%]	β_F [N/mm]
I OTOPINA	1	633	1,95	12,7	663	2,25	13,3
	2	546	1,95	10,9	905	2,70	18,1
	3	740	2,25	14,8	1062	2,55	21,2
	4	664	2,10	13,3	850	2,40	17
	5	773	2,25	15,5	896	2,25	17,9
	6	678	1,95	13,6	1015	2,25	20,3
	X	672,3	2,1	13,5	1060,8	2,4	17,9
	σ	80	0,147	1,479	131	0,183	2,537
	V [%]	11,957	7,086	10,96	14,411	7,698	14,17
II OTOPINA	1	870	2,84	17,4	979	2,85	19,6
	2	887	2,70	17,7	1021	2,55	20,4
	3	869	3,00	17,4	1040	2,69	20,8
	4	817	2,85	16,3	898	2,25	17,9
	5	954	2,85	19,1	960	2,55	19,2
	6	927	2,69	18,5	827	2,40	16,5
	X	887,3	2,8	17,7	954,2	2,5	19,1
	σ	48	0,115	0,888	80	0,212	1,474
	V [%]	5,436	4,079	5,02	8,351	8,301	7,72
III OTOPINA	1	805	3,00	16,1	1222	3,30	24,4
	2	1158	3,30	23,2	1199	3,00	23,9
	3	1198	3,75	23,9	1161	2,85	23,2
	4	1141	3,45	22,8	1363	3,30	27,3
	5	1109	3,30	22,2	1220	3,13	24,4
	6	1116	3,15	22,3	1177	3,30	23,5
	X	1087,8	3,3	21,7	1223,7	3,1	24,4
	σ	142	0,260	2,591	72	0,190	1,347
	V [%]	13,072	7,832	11,95	5,912	6,034	5,52

Rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja i čvrstoće za obradu 80 °C ukazuju na blagi pad svih vrijednosti spram neobrađenih uzoraka ali i između otopina. Pad vrijednosti nije drastičan kao u prethodnom radu budući da se ovdje sol-gel prevlaka kao dobra zaštita spram topline.

Najniže vrijednosti mehaničkih karakteristika uzrokuje I. otopina, zatim II. otopina pa III. otopina. Razlika u utvrđenim vrijednostima nakon djelovanja I. i II. otopine gotovo je zanemariva.

Tablica 12 Rezultati određivanja mehaničkih karakteristika uzoraka obrađenih pri -18 °C

Smjer izrade		U smjeru izrade (osnova)			Suprotno smjeru izrade (potka)		
Ispitivani parametri		F [N]	ϵ [%]	β_F [N/mm]	F [N]	ϵ [%]	β_F [N/mm]
I OTOPINA	1	1104	3,15	22,1	1467	3,90	29,3
	2	948	3,14	18,9	1460	3,45	29,2
	3	1121	3,44	22,4	1484	3,45	29,7
	4	1007	3,30	20,1	1525	3,90	30,5
	5	1291	3,90	25,8	1393	4,05	27,9
	6	1050	3,15	21	-	-	-
	X	1086,8	3,3	21,7	1465,8	3,7	29,3
	σ	118	0,296	2,174	48	0,281	0,845
	V [%]	10,874	8,840	10,02	3,275	7,483	2,89
II OTOPINA	1	788	2,70	15,8	1431	3,75	28,6
	2	866	2,85	17,3	1529	3,75	30,6
	3	843	2,55	16,9	1334	3,45	26,7
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-
	X	832,3	2,7	16,7	1431,3	3,6	28,6
	σ	40	0,150	0,634	98	0,173	1,593
	V [%]	4,786	5,556	3,78	6,818	4,745	5,57
III OTOPINA	1	671	1,95	13,4	1425	3,75	28,5
	2	570	1,95	11,4	1754	4,20	35,1
	3	543	1,80	10,9	1643	4,20	32,9
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-
	X	594,7	1,9	11,9	1607,3	4,05	32,3
	σ	67	0,087	1,080	168	0,260	2,744
	V [%]	11,314	4,558	9,08	10,425	6,415	8,49

Rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja i čvrstoće za obradu na -18 °C ne pokazuju drastične razlike u odnosu na neobrađeni uzorak. Vrijednosti slijede već zapaženu logiku promjena - najveće vrijednosti su nakon obrade I. otopinom, potom II. te zatim III. otopinom.

Niska temperatura nije drastično utjecala na vrijednosti mehaničkih karakteristika ni u smjeru osnove ni u smjeru potke.

8. Zaključak

Temeljem saznanja dobivenih pregledom znanstveno-stručne literature pokazalo se da su istraživanja mogućnosti primjene sol-gel procesa na staklenim mrežicama vrlo aktualna, te je u ovom trenutku i radu, po prvi puta primijenjen sol-gel postupak na staklenim mrežicama.

Na temelju dobivenih rezultata provedenih ispitivanja, prikazanih u ovom radu, može se ustvrditi sljedeće:

- sve vrijednosti dobivenih čvrstoća znatno su veće nakon predobrade, tj. obrade sol-gel postupkom, u usporedbi sa rezultatima iz završnog rada gdje je nije bilo,
- kako je sastav II otopine definiran normom i kao takav najpribližniji sastavu koji se primjenjuje u građevinarstvu može se zaključiti da mrežica može izdržati visoke temperature (60 °C i 80 °C), ali i nisku temperaturu od -18 °C,
- općenito vrijednosti čvrstoće su veće nego kod tekstilija za tekstilnu primjenu, a što ukazuje da je za staklena vlakna daleko značajnija tehnička primjena,
- rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja, čvrstoće i istezanja pri prekidu za obradu 60 °C ukazuju da su dobivene vrijednosti najviše za II otopinu. Najniže vrijednosti dobivene su za III otopinu, a potom za I otopinu,
- rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja, čvrstoće i istezanja pri prekidu za obradu 80 °C ukazuju na blagi pad svih vrijednosti spram neobrađenih uzoraka ali i između otopina. Razlika u vrijednostima gotovo je zanemariva,
- rezultati određivanja prekidne sile, prekidnog istezanja, čvrstoće i istezanja pri prekidu za obradu -18 °C nemaju drastičnih razlika spram neobrađenog uzorka. Logika vrijednosti slijedi najveće vrijednosti kod II otopine, potom III otopine, a zatim I otopine.

U završnom radu bilo je utvrđeno da su mrežice bez obzira na narušen površinski izgled pri niskoj temperaturi zadržale dobra mehanička svojstva, za razliku pri višim temperaturama. Tada se pokazalo da očito bez obzira na dobra početna svojstva staklenih vlakana temperature i otopine su preagresivne te dolazi do smanjenja čvrstoće. Iz tog razloga u ovom radu je primijenjen sol-gel postupak, tj. mrežice su dodatno obrađene funkcionalnom obradom i ponovo ispitane kako bi se stekao uvid da li se na taj način može usporiti ili ukloniti smanjenje vrijednosti čvrstoće, a što je ovim radom i potvrđeno.

Razvoj novih materijala u području tehničkog tekstila olakšava život ljudi u mnogim segmentima njihova života bilo kroz uočljivi dio (npr. zaštitni tekstil, medicinski tekstil i dr.) ili neuočljivi dio (mobil tekstil, građevinski tekstil i dr.).

Mrežice od staklenih vlakana svakako su važan segment tehničkog tekstila, tj. građevinskog tekstila i toplinsko-izolacijskih materijala, a primjena Kyoto protokola svakako učvršćuje njihovu primjenu i razvoj. Dobra mehanička svojstva osiguravaju dobru izolaciju na dulji vijek.

9. Literatura

- [1] Šilhard-Mihaljević, S.: Uporabljivost toplinsko-izolacijskih proizvoda u zgradarstvu, *Građevinar* 58 (2006.) 8, 649-653
- [2] <http://www.gradimo.hr/clanci>; Toplinsko-izolacijski materijali u graditeljstvu, 10. travnja 2013.
- [3] Vončina B.: Tehnične tekstilije, skripta, Maribor, 2006.
- [4] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Zrinski d.d, Čakovec, 2005.
- [5] http://glib.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=11:fasaderski, 12. travanj 2013.
- [6] Babić i dr.: Geosintetici u graditeljstvu, Zagreb, 1995.
- [7] United nations framework convention on climate change, <http://unfccc.int/> , 12. travanj 2013.
- [8] United Nations Framework Convention on Climate Change Status of Ratification, UN, <http://unfccc.int/resource/conv/ratlist.pdf>, 2001.
- [9] Kyoto Protocol Status of Ratification, UN, <http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>, 2002.
- [10] Duić N., Juretić F., Zeljko M., Bogdan Ž., Kyoto protocol objectives in Croatia energy planning, <http://powerlab.fsb.hr/neven/papers/madeira2000croatia.pdf>, 2000.
- [11] Vuk B., Marušić D., ENERGIJA u Hrvatskoj: godišnji energetske pregled: 1996. - 2000., Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2001.
- [12] Božić H. et al., Analiza potrošnje energije u kućanstvima grada Zagreba u 1988. godini, Energetska bilanca grada Zagreba, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.
- [13] Proposal for a Directive of The European Parliament and of The Council on The Energy Performance of Buildings, Commission of The European Communities, Brussels, 2001.
- [14] The Lisbon Declaration on CO₂ Reductions, <http://www.eurima.org/downloads/lisbon1.pdf>, 1997.
- [15] The Lisbon Declaration II of the International Insulation Industry on CO₂ reductions, <http://www.eurima.org/downloads/lisbon2.pdf>, 2000.
- [16] NAIMA Addresses U.N. Climate Change Convention on Role of Insulation in Reducing Greenhouse Effect, <http://www.naima.org/releases/climate.html>, 1996.
- [17] Thermal Insulation Thicknesses in Housing in Europe, EURIMA, <http://www.eurima.org/downloads/Insulationthickness.ppt>
- [18] Green and Competitive - The Energy, Environmental, and Economic Benefits of Fiber Glass and Mineral Wool Insulation Products, Energy Conservation Management, Inc.,

- Alliance to Save Energy, Barakat & Chamberlin, Inc.,
<http://www.naima.org/updates/green.html>, 1966.
- [19] The Cost Implications of Energy Efficiency Measures In The Reduction of Carbon Dioxide Emissions From European Building Stock, Caleb Management Services,
<http://www.eurima.org/downloads/caleb2.pdf>, 1999.
- [20] David H., The insulation industry, its contribution to combat climate change,
[http://www.eurima.org/downloads/Belgian Presidency of the Council of the EU.pdf](http://www.eurima.org/downloads/Belgian%20Presidency%20of%20the%20Council%20of%20the%20EU.pdf), 2001.
- [21] Boris Adum: Utjecaj energetske politike u zgradarstvu na ispunjavanje obaveza Kyoto Protokola, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [22] Macan, J.: Priprava hibridnih materijala za prevlake sol-gel procesom, Zagreb, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, disertacija, 2006.
- [23] www.dino-lite.eu; 10. travnja 2013.
- [24] NN br. 41/2010, Pravilnik o sirovinskom sastavu i nazivima tekstila
- [25] HRN EN 13946 Toplinsko-izolacijski proizvodi za primjenu u zgradarstvu – Određivanje mehaničkih svojstava mrežice od staklenih vlakana (EN 13496: 2002).